


**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»**

**Факультет електроніки
Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури**

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
 Лисенко О.М.
(підпис) (ініціали, прізвище)
« 16 » 06 2020р.

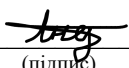
**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра**

зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему: Автоматичний контролер світлового потоку

Виконав: студент IV курсу, групи ДК-62

Шашков Андрій Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Керівник доцент к.т.н. , Є.В. Короткий
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)


(підпис)

Консультант с.т. викладач, В.Г. Губар
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)


(підпис)


Консультант _____
(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент начальник сектору П.С. Швець
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)


(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент 
(підпис)

Київ - 2020

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»**

Факультет електроніки

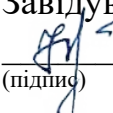
Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

Освітньо-кваліфікаційний рівень — (бакалавр)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 О.М. Лисенко
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ 20 ” 03 2020р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Шашков Андрій Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту Автоматичний контролер світлового потоку
керівник проєкту Короткий Євгеній Васильович, доцент к.т.н.
консультант проєкту Губар Вячеслав Григорович, с.т. викладач
затверджені наказом по університету від № 1196-с від 25.05.2020р
2. Термін подання студентом проєкту 15 червня 2020 року
3. Вихідні дані до проєкту Пристрій являє собою моноблочну конструкцію, кліматичне виконання УХЛ 5.1 по ГОСТ 15150-69. Керування освітленням в приміщенні. Габаритні розміри 70x100x60 мм, маса — не більше 200 г. Час напрацювання на відмову — не менше 10000 годин.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:
 - аналіз технічного завдання;
 - огляд існуючих засобів керування, патентний пошук;
 - розробка схеми електричної принципової;
 - обґрунтування вибору елементної бази та друкованої плати;
 - конструкторсько-технологічні розрахунки;
 - електричний розрахунок друкованої плати;
 - розрахунок надійності друкованої плати;
 - проєктування у Altium Designer;
 - висновки.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо):
 - схема електрична принципова;
 - друкована плата;
 - складальне креслення друкованої плати.
6. Дата видачі завдання 20.03.20

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання Дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	9.03.20-15.03.20	виконано
2	Вибір елементної бази та друкованої плати	16.03.20-29.03.20	виконано
3	Схемотехнічне проєктування	30.03.20-08.04.20	виконано
4	Виконання креслень схеми електричної принципової	08.04.20-19.04.20	виконано
5	Конструкторсько-технологічні розрахунки	20.04.20-03.05.20	виконано
6	Електричний розрахунок друкованої плати	04.05.20-10.05.20	виконано
7	Проектування у Altium Designer	11.05.20-17.05.20	виконано
8	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузла	18.05.20-24.05.20	виконано
9	Оформлення пояснювальної записки	25.05.20-15.06.20	виконано

Студент _____  А.В.Шашков
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту _____  Є.В. Короткий
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Роботу викладено на 57 сторінках, вона містить 5 розділів 12 ілюстрацій, 9 таблиць та 31 джерело в переліку посилань.

Метою дипломного проекту є розробка модуля автоматизованого керування освітленням побутових та виробничих приміщень для зменшення витрат електроенергії та збереження природних ресурсів.

У проєкті приведено аналіз вимог до сучасних засобів економії електроенергії. Досліджено аналоги, підібрано оптимальну елементну базу та обрано найефективніші технічні рішення. На основі досліджених даних спроектовано друковану плату модуля автоматизованого керування освітленням, обрано необхідні складові частини. Проведено розрахунки, що підтверджують працездатність приладу та відповідність усім нормативним документам та стандартам.

Розроблений модуль автоматизованого керування освітленням є доступним для використання в будь-яких побутових та виробничих приміщеннях.

ABSTRACT

The work is presented on 57 pages, it contains 5 sections, 12 illustrations, 9 tables and 31 sources in the list of references.

The purpose of the degree project is to develop of automated lighting control module household and industrial facilities to reduce power consumption and save natural resources.

The project analyzed requirements of modern energy savings. Analogs are investigated, optimum element base is picked up and the most effective technical solutions are chosen. It is designed the printed circuit board of automated lighting control based on research data, the required components are chosen. The calculations confirming operability of the device and compliance to all normative documents and standards are carried out.

The developed for automated lighting control module is available for use in any residential and industrial premises.





**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту**

на тему: **Автоматичний контролер світлового потоку**

Київ – 2020

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
Розділ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ПАТЕНТНИЙ ПОШУК	5
1.1. Аналіз технічного завдання.....	5
1.2. Огляд існуючих систем та патентний пошук	5
Розділ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ.....	10
2.1. Розробка структурної схеми.....	10
2.2. Розробка схеми електричної принципової.....	19
Розділ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ	21
3.1. Вибір і обґрунтування типу друкованої плати	21
3.2. Вибір і обґрунтування матеріалу друкованої плати	22
3.3. Вибір і обґрунтування класу точності друкованої плати	23
3.4. Вибір і обґрунтування методу виготовлення друкованої плати.....	25
3.5. Проєктування друкованої плати у середовищі Altium Designer.....	27
Розділ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКОГО РІШЕННЯ	29
4.1.1. Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати... 29	
4.1.2. Розрахунок мінімальної ширини провідника по постійному струмі для ланцюгів живлення та землі	29
4.1.3. Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому	30

					ДК62.758723.001 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Лат	<div>Автоматичний контролер світлового потоку</div> <div>Пояснювальна записка</div>		
Розробив	А.В. Шашков						
Перевінив	В.Г. Губар						
Реценз.							
Н. Контр.	В.Г. Губар						
Затвердив	Є.В. Короткий				<div>Літ.</div> <div>Арк.</div> <div>Архівів</div> <div>1</div> <div>57</div> <div>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕЛ, гр. ДК-62</div>		

4.1.4.	Визначення номінально діаметру монтажного отвору	31
4.1.5.	Визначення діаметру контактного майданчику	31
4.1.6.	Визначення мінімальної та максимальної ширини провідника	32
4.1.7.	Визначення мінімальної відстані між провідником та контактним майданчиком.....	33
4.1.8.	Визначення мінімальної відстані між сусідніми провідниками....	34
4.1.9.	Визначення мінімальної відстані між контактними площадками.	34
4.2.	Електричний розрахунок друкованої плати	35
4.2.1.	Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику	36
4.2.2.	Визначення втрати потужності двосторонньої друкованої плати	36
4.2.3.	Визначення ємності між двома сусідніми провідниками, які розташовані на одній стороні друкованої плати та мають однакову ширину	37
4.3.	Розрахунок надійності.....	38
Розділ 5. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ		45
5.1.	Програмування мікроконтролера STM32F411RET6	45
5.2.	Структурна схема	46
Для написання програми керування автоматичним освітленням розроблено структурну схему зображену на рисунку		46
5.3.	Розробка програми для мікроконтролера STM32F411RE.....	46
Перелік джерел посилання		50
Додаток А – Технічне завдання на проектування.		
Додаток Б – Лістинг програми.		
Додаток В – ДК62.750706.001 СП Специфікація.		
Додаток Г – ДК62.467859. 001 ЕЗ Перелік елементів.		

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

Список використаних скорочень

ІЧ – інфрачервоне;

МК – мікроконтролер;

ШИМ – широтно-імпульсний модулятор;

USB – Universal Serial Bus – універсальна послідовна шина;

SRAM – Static Random Access Memory – статична оперативна пам'ять з довільним доступом;

EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory – постійний запам'ятовуючий пристрій, що програмується та очищується за допомогою електрики;

UART – Universal Asynchronous Receiver-Transmitter – універсальний асинхронний передавач/приймач;

ISSP – In Circuit Serial Programming – коло послідовного програмування;

ППР – пасивний інфрачервоний датчик;

ДДП – двостороння друкована плата;

ДП – друкована плата;

SMD – Surface Mount Technology – технологія поверхневого монтажу;

ЕРЕ – електрорадіоелемент;

РЕС – радіоелектронні системи;

ТЗ – технічне завдання;

ПЗ – програмне забезпечення.

					<i>ДК62.758723.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

ВСТУП

Освітлення, як внутрішнє, так і зовнішнє, є істотним споживачем електроенергії. Одночасно у зв'язку з широким впровадженням світлодіодних освітлювальних приладів постає задача розробки систем керування їх роботою. Останнім часом все більшої популярності і поширення отримує комплекс приладів «розумний дім», і система для керування освітленням є однією з головних її складових. Управління роботою джерел світла та світлових приладів на їх основі – завдання, від вирішення якого будуть залежати умови експлуатації освітлювальних пристроїв, а також раціональне використання електроенергії.

Автоматизована система управління освітленням дозволяє суттєво знизити витрати електроенергії на освітлення, здійснюючи включення або відключення освітлювальних приладів за умов, що динамічно змінюються. Наприклад:

1. В залежності від рівня природного освітлення приміщень;
2. В залежності від показань датчику руху;
3. Автоматично через заданий інтервал часу;
4. При натисненні людиною кнопок керування.

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

Розділ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1. Аналіз технічного завдання

На даний момент існує багато місць для використання автоматичного контролера світлового потоку, але в основному він буде використовуватися в офісах, житлових приміщеннях та для освітлення вулиць. Тому основними вимогами технічного завдання є те, що прилад має бути зручний у використанні, має не великі габаритні розміри та може працювати автоматично.

Для вирішення поставлених задач та перевірки доцільності розробки такого пристрою необхідно проаналізувати існуючі патенти та пристрої, що є зараз на ринку.

1.2. Огляд існуючих систем та патентний пошук

В відкритих інтернет-джерелах існує 3 основні типи пристроїв, доступні для придбання:

- I. Диммери;
- II. Пристрої з інфрачервоним управлінням;
- III. Контролер сигналу DMX512;

Перший тип пристроїв призначений для управління яскравістю світлодіодного приладу за рахунок зміни опору. Найпоширеніший варіант для управління ними - аналоговий, але часто диммери також комплектуються додатковим пультом керування (радіо пульт або сенсорна панель).

Другий тип пристроїв набагато менш зручний варіант для управління світловими приладами. Основний істотний недолік пристроїв з інфрачервоним управлінням – ви зможете здійснювати керування основними параметрами світлової техніки тільки тоді, коли прилад знаходиться в безпосередній близькості (є пряма видимість).

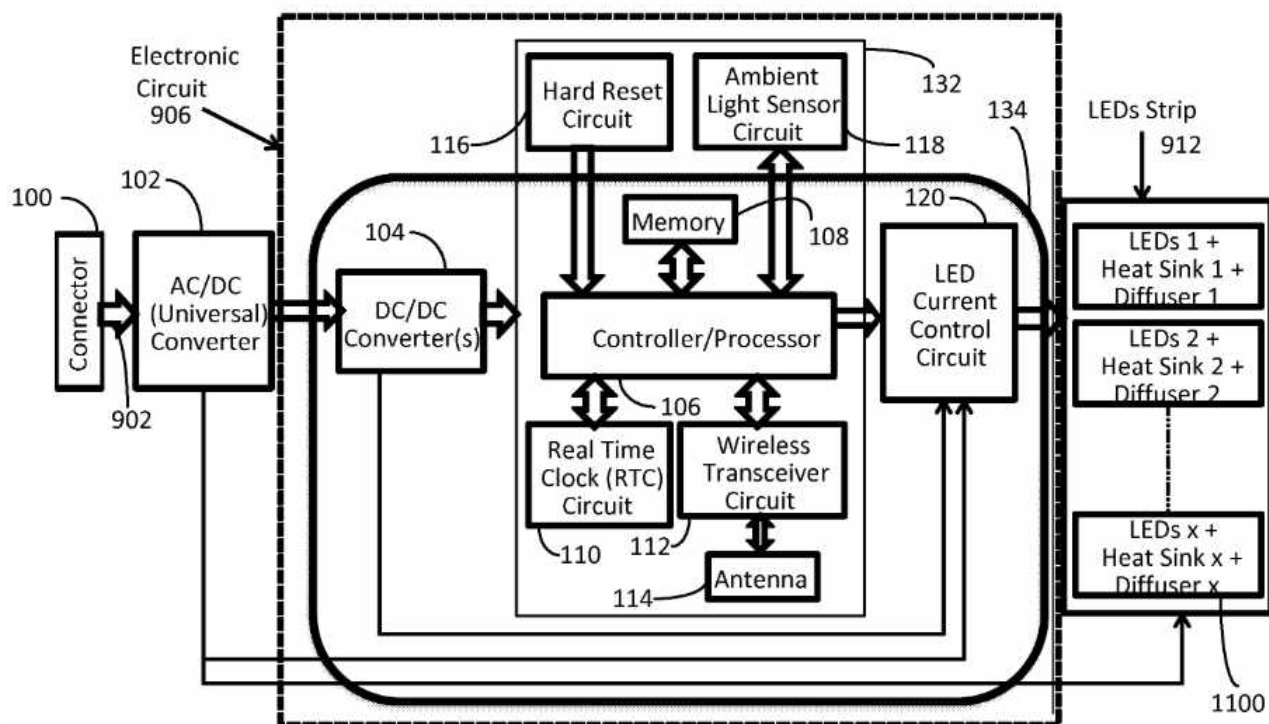
					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

Третій тип пристроїв дозволяє управляти колірними характеристиками освітлювальних приладів, налаштовуючи їх за шкалою RGB.

Універсальність розробленого пристрою забезпечена тим, що його можна підключати до будь-яких освітлювальних LED приладів, а також є можливість забезпечувати динамічну зміну яскравості за бажанням користувача, або автоматично.

Підчас патентного пошуку, було розглянуто такі патенти:

Патент US8742694B2, розроблений Swapnil Bora та Corey Egan. В патенті пропонується рішення для системи керування «Бездротова система управління освітленням».



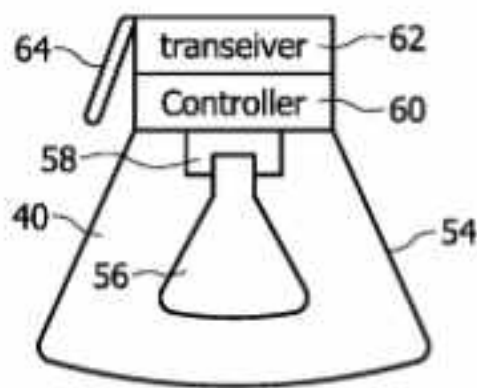
1. Запатентований пристрій US8742694B2

Освітлювальний пристрій включає в себе перетворювач живлення постійного струму, контролер, електрично підключений до перетворювача потужності постійного струму, схему управління струмом на світлодіодах, зв'язану з контролером і підключену до постійного електричного струму. Перетворювач потужності і два або більше світлодіодів, що містять

щонайменше два кольорові світлодіоди, електрично з'єднані зі схемою управління струмом світлодіодів.

Найбільший недолік цього пристрою в тому, що він може керувати тільки однією лампочкою, та не має засобів для автоматизації.

Патент US20080315772A1, розроблений: Engel Johannes Knibbe. В патенті пропонується рішення для системи керування «Прилад для керування освітленням»



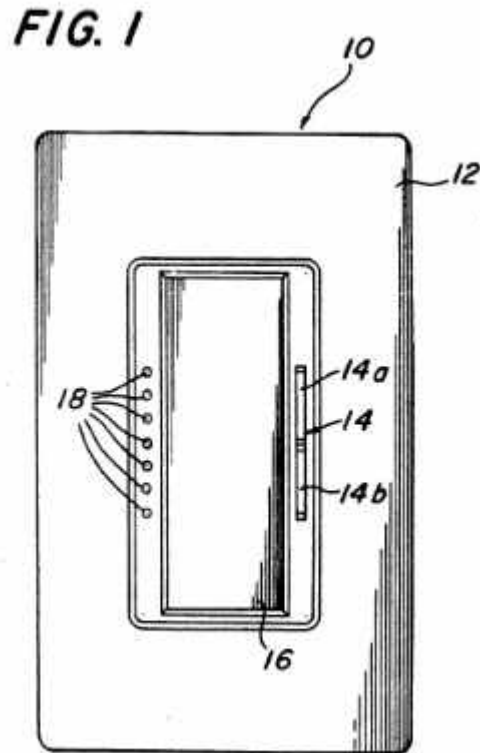
2. Запатентований пристрій US20080315772A1

Щонайменше, одне джерело світла освітлює кімнату, яка містить, щонайменше, один предмет на зразок меблів. Пристрій сприйняття предмета виявляє предмет та визначає місце розташування предмета в кімнаті. Система управління освітленням управляє джерелом світла у відповідь на виявлене місце розташування і переміщення предмета в кімнаті.

Найбільший недолік цього пристрою в тому, що він керується тільки об'єктами в кімнаті, не враховуючи наявне освітлення та не маючи таймерів для ввімкнення або вимкнення освітлення.

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Патент US5248919A, розроблений: Robert S. Hanna, Donald F. Hausman, Jr., David E. Houggy, Jr., Donald R. Mosebrook, Joel S. Spira. В патенті пропонується рішення для системи керування «Прилад керування освітленням»



3. Запатентований пристрій US20080315772A1

Пристрій управління освітленням для керування станом і рівнем інтенсивності, щонайменше, однієї лампи. Пристрій включає в себе керований користувачем селектор інтенсивності для вибору бажаного рівня інтенсивності між мінімальним і максимальним, керуючий перемикач для генерації сигналів управління, що представляює попередньо вибраний стан і рівень інтенсивності лампи у відповідь на регулювання селектором інтенсивності.

Найбільший недолік цього пристрою в тому, що він не має засобів для автоматизації і йому необхідний користувач для зміни інтенсивності освітлення.

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Висновок: Виходячи з наявних патентів та пристроїв, що зараз наявні на ринку, можна сказати, що прилади або занадто дорогі, або обмежені функціонально, або не надають змоги безпосереднього контролю за освітленням. Саме тому дана розробка є доцільною. Розроблений пристрій може бути використано як в офісних приміщеннях, так і в звичайних квартирах для зменшення енерговитрат на електроенергію. Також однією з переваг даного пристрою є спрощення керування ним або, і взагалі, можливість автономної роботи.

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Розділ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЄКТУВАННЯ

Після проведення у попередньому розділі аналізу аналогів та формування технічного завдання, було спроектовано структурну схему приладу, для спрощення проєктування в подальшому.

2.1. Розробка структурної схеми

На рисунку 2.1 зображена структурна схема автоматизованого приладу для контролю за освітленням на базі STM32.

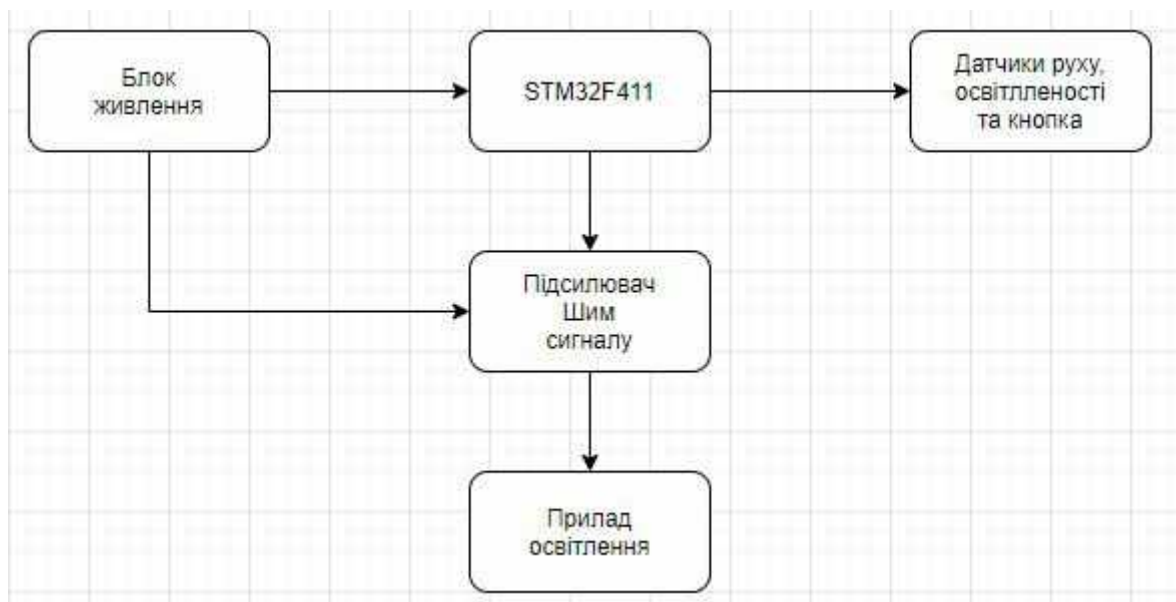


РИС. 2.1. Структурна схема

Основним є блок мікроконтролера STM32. На базі якого і відбувається автоматизоване керування освітленням, бо він отримує всі данні з датчиків та на ньому відбуваються розрахунки.

Для живлення системи подається напруга з блоку живлення 12 В на стабілізатор напруги, звідки вже перетворена у 3.3 В напруга подається на STM32, також до мікроконтролеру підключено датчики та кнопку для ручного керування. З датчиків освітленості та руху дані, що описують стан навколишнього середовища, передаються на STM32. Для зниження витрат електроенергії данні з датчику освітлення зчитуються не постійно, а раз на 5с. Данні обробляє мікроконтролер і, за необхідності, коли керуючий сигнал

надходить з пристрою освітленості або руху, передає сигнал на підсилювач ШІМу, звідки сигнал вже надходить на прилад освітлення.

Після створення структурної схеми пристрою, переходимо до вибору компонентів та проєктування електрично принципової схеми блоку автоматизованого приладу для контролю за освітленням.

2.2. Вибір елементної бази

У цьому розділі представлено обґрунтування вибору конкретних компонентів. Для компонентів, що не є дуже важливими, обґрунтування представлено словесно, а для більш важливих – матричним методом.

Елементна база пристрою обирається за такими критеріями:

- Пристрій має коректно працювати у заданих кліматичних умовах;
- Маса габаритні характеристики;
- Надійність і задане напрацювання на відмову;
- Вартість.

У даному пристрої, що розроблено у дипломному проєкті, використовуються і пасивні, і активні елементи. А також, окремо проведено вибір апаратної платформи, так як вона є головною частиною пристрою, що розробляється.

Для початку оберемо мікроконтролер. Він повинен швидко виконувати необхідні розрахунки та зчитувати дані з датчиків.

Найбільш об'єктивним рішенням є вибір 32-бітних мікроконтролерів ARM, адже вони наразі є дуже розповсюдженими і мають відносно невелику ціну. Також для них багато літератури та описів роботи з ними.

Плати цього сімейства надають великі можливості для розробника, маючи при цьому достатньо дружній інтерфейс для їх легкого використання.

Також суттєвим плюсом є те, що відлагоджувальна плата з STM32F411 недорого і дозволяє проводити симуляцію роботи пристрою.

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Загальні характеристики сімейства STM32F411 у корпусі LQFP64 [13], який має параметри:

- Підтримка DSP-інструкцій;
- Нова високопродуктивна АНВ-матриця шин;
До 1 Мбайт Flash-пам'яті;
До 192 + 4 кбайт SRAM-пам'яті;
- Напруга живлення 1,8 ... 3,6 (POR, PDR, PVD і BOR);
- Зовнішнє джерело тактування 4 ... 26МГц
- Три 12-біт АЦП на 24 вхідних канали (швидкість до 7,2 мегасемплов, температурний датчик);
- Два 12-бітних ЦАП;
- DMA-контролер на 16 потоків з підтримкою пакетної передачі;
- 17 таймерів (16 і 32 розряду);
- Два сторожових таймера (WDG і IWDG);
- Апаратний генератор випадкових чисел;
- Апаратне обчислення CRC, 96-бітний унікальний ID;
- Модуль шифрування AES 128, 192, 256, Triple DES, HASH (MD5, SHA-1), HMAC;
- Розширений температурний діапазон - 40 ... +105 ° С.

Вбудовані інтерфейси комунікації

Ethernet. Даний блок присутній не в усіх продуктах сімейства, а лише в контролерах STM32F411 / STM32F417. Блок виконаний строго за стандартом IEEE802.3. Можлива передача даних зі швидкістю 10/100 Мбіт / с. Доступна синхронізація годин, для чого протокол IEEE1588 v2 реалізований апаратно. Для оптоволоконної або мідної лінії потрібне застосування стороннього приймача. PHY-трансивер з'єднується безпосередньо з портом МПІ або РМПІ.

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

USB OTG high-speed працює в режимі Host / Device / OTG з високою швидкістю 480 Мбіт / с, для чого необхідний блок приймача, що працює на високій швидкості через спеціальний ULPI-інтерфейс.

SPI (Serial Peripheral Interface). Пристрій оснащений трьома блоками SPI, кожен з яких працює в режимі Master (Multimaster) або в режимі Slave, передаючи дані напівдуплексних, повнодуплексних або сімплексно. Підтримується апаратний розрахунок контрольних сум CRC для підвищення завадостійкості каналу зв'язку: так CRC може бути переданий останнім байтом слова в режимі Tx, присутня автоперевірка правильності CRC останнього байта, що прийшов. Блок пристрою SPI1 працює на швидкостях аж до 37,5 Мбіт / с. Інші обмежені максимальною швидкістю в 21 Мбіт / с.

Передача даних йде у вигляді 8- або 16-бітових блоків, вперед молодшим або старшим бітом. При чому допускається програмна заміна фази і полярності сигналу тактування.

USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter). У мікроконтролер вбудовано чотири блоки USART і два UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter). Блоки USART1 і USART6 допускають високошвидкісний обмін даними на швидкості до 10,5 Мбіт / с. Інші ж підтримують швидкість не більше 5,25 Мбіт / с. На нативному рівні є підтримка передачі даних згідно стандарту NRZ (Non Return to Zero).

I2C (Inter-Integrated Circuit). На борту МК міститься три блоки I2C, що підтримують роботу в режимі Master / Slave (головний або підпорядкований), а також в режимі Multimaster (режим в якому на шині присутні кілька Master-пристроїв, що мають спільні ресурси Slave, або по черзі змінюють свій стан з Master на Slave і назад). У складі пристрою є модуль діагностики і виправлення пакетних помилок PEC. Використовується 7-бітний і 10-бітний режим адресації. Підтримуються загальноприйняті для протоколу швидкості обміну даними до 100 kHz в простому режимі і 400 kHz в режимі надшвидкого обміну даними. Модулі можуть бути сконфігуровані на розширені протоколи SMBus 2.0 і PMBus.

					<i>ДК62.758723.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

I2S (Inter-Integrated Sound). У мікроконтролері присутні два мультиплексованих блоку I2S з вбудованим SPI. Обидва модулі можуть бути сконфігуровані на роботу в режимі Master або Slave. Дані передаються по 16, 24 або 32 біта повнодуплексно або сімплексно.

DCMI (Digital Camera Interface). Присутній в контролерах STM32F407 і STM32F417. За допомогою даного інтерфейсу можна організувати пряме підключення до камери або CMOS-матриці. Можлива внутрішня і зовнішня синхронізація покадрово або через підрядник.

Далі обираємо кнопку. Кнопка використовується лише для скидання даних, тому достатньо обирати тип кнопки DPST. Оскільки кнопка планується мати вивід до бокової сторони корпусу, тому було обрано PB400OAQX (рис.2.2) і має наступні параметри:

- Тип контакту: DPST
- Робоча температура: -5...+60 °C



Рис. 2.2 — вигляд кнопки PB400OAQX

Вибір Датчика руху.

В цьому приладі було прийнято рішення використовувати піроелектричний датчик руху HC-SR501, що являє собою модуль, який складається зі схеми керування та самого інфрачервоного датчику. Цей датчик часто використовують у системах сигналізації, через те, що він невеликий за габаритами, не дорогий, не споживають багато енергії, дуже зносостійкі та прості у експлуатації.

Датчик руху складається з чутливого піроелектричного елементу, який сприймає інфрачервоне випромінювання. Всі об'єкти навколо випромінюють маленькі радіаційні дози. Чим сильніше випромінювання тим вища буде

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

температура. Датчик поділено навпіл, обумовлюється це тим, що нам важливо не кількість випромінення, а наявність руху. Частини датчика встановлені так, що коли одна з половин уловлює більший рівень ніж інша, на виході буде формуватися високий логічний рівень.

Цей датчик було обрано через його легкодоступність, дешевизну та велику кількість матеріалу стосовно роботи з ним. Також, оскільки прилад буде використовуватися в приміщенні, діапазону робочих температур від -20 до +80 °C буде повністю достатньо. Його вихідний діапазон напруг чудово підходить для роботи з STM32F411

Нижче представлені параметри датчику.

- Напруга живлення: 4.5-20 В;
- Струм споживання: 50 мА;
- Вихід: високий-3,3 В, низький-0 В;
- Інтервал виявлення: 3-7 м;
- Затримка тривалості після запуску: від 5 до 300 секунд;
- Кут спостереження до 120°;
- Час блокування до наступного вимірювання: 2,5 сек;
- Режим роботи: L-одномісний позитивний, H-запуск на кожному заході;
- Робочі температури від -20 до +80°C;
- Розміри 32x24x18 мм.

Транзистори.

В якості елемента, з n-p-n переходом для транзисторного підсилювача що буде, буде використовуватися транзистор КТ503Д, який також буде розсіювати певну частину енергії. Виробляється ЗАО «Група Кремний Эл».

Нижче наведена таблиця з параметрами транзистора КТ503Д.

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Таблиця 2.1 - параметри транзистора КТ503Д

Назва	тип	$U_{kbo(i)} В$	$U_{keo(i)} В$	$I_{kmax (i)} мА$	$P_{kmax (T)} Вт$	h_{21e}	$I_{kbo} мкА$	$f_{гр} МГц$
КТ503 Д	n- p-n	80	60	150	0.35	40- 120	<1	>350

В якості транзистор з р-n-р переходом обрано транзистор КТ503Г, що виробляється ЗАО «Група Кремний Эл».

Нижче наведена таблиця з параметрами транзистора КТ503Г.

Таблиця 2.2 - параметри транзистора КТ503Г

Назва	тип	$U_{kbo(i)} В$	$U_{keo(i)} В$	$I_{kmax (i)} мА$	$P_{kmax (T)} Вт$	h_{21e}	$I_{kbo} мкА$	$f_{гр} МГц$
КТ503 Г	p- n-p	10	70	200	125	750	<10	>4

- U_{kbo} – максимальна напруга на колектор-база
- $U_{kbo(i)}$ – максимальна напруга на колектор-база під час імпульсу
- U_{keo} – максимальна напруга на колектор-емітер
- $U_{keo(i)}$ – максимальна напруга на колектор-емітер під час імпульсу
- I_{kmax} – максимальний постійний струм що може бути на колекторі
- $I_{kmax (i)}$ – максимальний імпульсний струм що може бути на колекторі
- P_{kmax} – максимальна потужність, що може розсіяти колектор без тепловідводу
- $P_{kmax (T)}$ – максимальна потужність, що може розсіяти колектор з тепловідводом
- h_{21e} – статичний коефіцієнт для передачі струму біполярного транзистору у схемі зі спільним емітером
- I_{kbo} – зворотній струм колектора

- $f_{гр}$ – гранична частота коефіцієнту передачі струму у схемі зі спільним емітером.

Транзистором зі зворотнім діодом було обрано IRF9530NS

Таблиця 2.3 - параметри транзистора IRF9530NS

Назва	U_{ds}, B	I_d, A	U_{gs}, B	$R_{dc}, Ом$	$P_d, Вт$
IRF9530NS	100	14	20	0,2	79

- U_{ds} – максимальна напруга на витік – втік;
- I_d – максимальний струм на витік – втік;
- U_{gs} – максимальна напруга затвор – витік;
- R_{dc} – опір відкритого каналу;
- P_d – максимальна розсіювальна потужність;

Вибір діоду

У даному пристрої було обрано діод 1N5820, що забезпечує захист від високої напруги, швидку комутацію та низьке падіння напруги на ньому.

Таблиця 2.4 - параметри діоду 1N5820

Назва	$U_{зв}, B$	$I_{пзв}, A$	I_3, mA	$U_{п}, B$	$T_{роб}, ^\circ C$	$I_{пн}, A$
1N5820	20	3	500	0,475	125	70

- $U_{зв}, B$ – максимальна постійна зворотна напруга;
- $I_{пзв}, A$ – максимальний постійний прямий струм;
- I_3, mA – максимальний зворотній струм;
- $U_{п}, B$ – максимальна пряма напруга;
- $T_{роб}, ^\circ C$ – максимальна робоча температура;
- $I_{пн}, A$ – максимальний прямий імпульсний струм;

Роз'єми

Для можливості під'єднання до приладу освітлювальних приладів було використано роз'єми RC-0086, що мають такі характеристики:

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

- Номінальна напруга 300В;
- Номінальний струм 16А;
- Корпус типу РВТ;

При підключенні живлення використано роз'єм живлення rj003С.

Конденсатори

При виборі конденсаторів, керувалися такими характеристиками:

- Діапазон робочої температури;
- Допустимі відхилення від номінальних значень ємності;
- Габаритні розміри;

Для конструювання було обрано SMD конденсатори типорозміру 0603 та електrolітичний типорозміру 0805

Резистори:

При виборі резисторів , керувалися такими характеристиками:

- Мінімальна напруга;
- Допустимі відхилення від номінальних значень ємності;
- Габаритні розміри;

Для конструювання було обрано SMD резистори типорозміру 0603

Котушка індуктивності

Підчас конструювання пристрою було обрано котушку індуктивності в корпусі SDR типорозміру 0604 та з індуктивністю 1 мкГн.

Основні характеристики:

- Індуктивність: 1 мкГн;
- Допуск індуктивності: 20%;
- Струм: 1,45 А;
- Корпус: SMD;
- Робоча температура від -40 до +125 °С
- Струм насичення: 2 А.

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

2.2. Розробка схеми електричної принципової

Схема створена на базі STM32. Джерела живлення та датчиків освітленості та руху, що підключені до мікроконтролеру показано на рисунку 2.3.

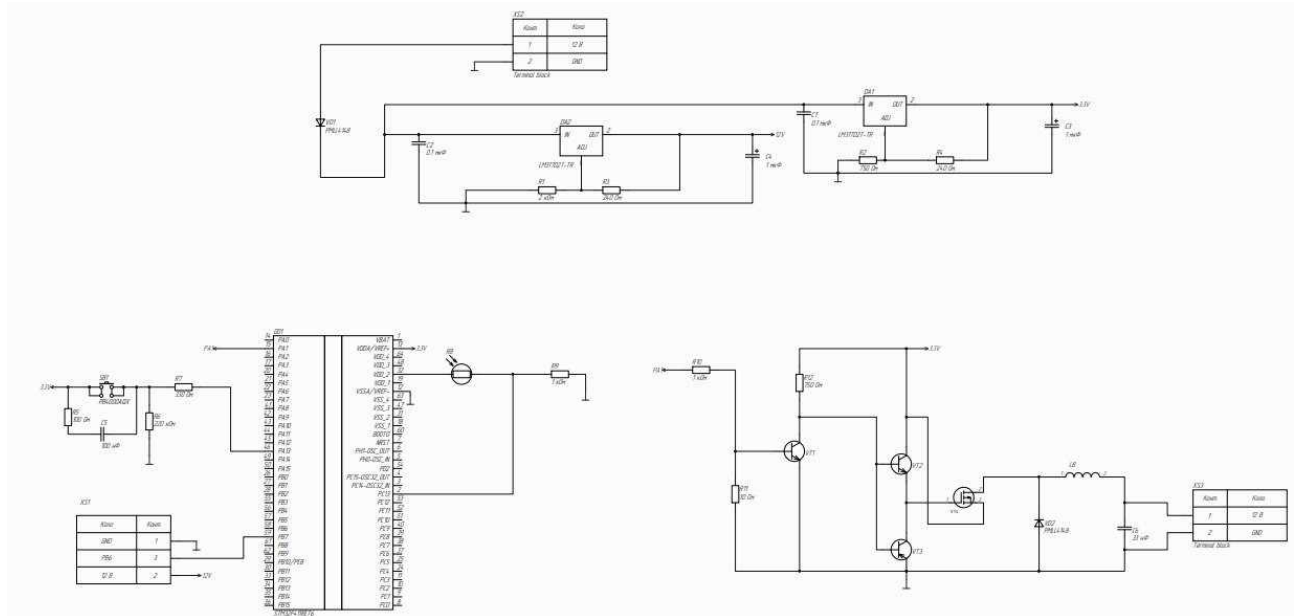


РИС. 2.3. Схема електрична принципова

Важливою частиною проєктування друкованого вузла є джерело живлення. Схема для джерела живлення має відповідати певним параметрам, таким як характер навантаження та вихідна напруга.

Саме тому для нормальної роботи мікроконтролеру та всіх інших компонентів схеми на вході живлення розміщено стабілізатори напруги, на виході яких ми маємо 12В та 3.3В.

Для підсилення вихідного ШІМ сигналу мікроконтролера встановлено підсилювач ШІМу на біполярних транзисторах VT1-VT3 , що працюють у режимі ключа, а також на польовому транзисторі VT4.

Під час побудови схем транзисторних підсилювачів зазвичай доводиться вживати заходів для їх стабілізації робочої точки. Головним дестабілізуючим чинником, що впливає на стабільну роботу схеми, є температура. Існує кілька способів для термостабілізації роботи транзисторних каскадів, але у даному випадку немає необхідності їх використовувати, тому що під час проєктування

приладу елементна база була обрана таким чином, щоб мінімізувати виділення тепла елементами та радіаторами.

Висновки:

У даному розділі було обрано елементну базу та згідно зі структурною схемою та елементною базою було розроблено схему електричну принципову. Було обрано мікроконтролер STM32F411RE. Оскільки схема містить дві напруги живлення (+3.3 В та 12В), схема має два перетворювача напруги. Для ручного керування приладом було обрано кнопку PB400.

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Розділ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ

3.1. Вибір і обґрунтування типу друкованої плати

Друкована плата призначена для електричних з'єднань і представляє собою ізоляційну основу, в якій на лицевій стороні розміщені конструктивні елементи, а на зворотній стороні – елементи друкованого монтажу: друковані провідники, контактні майданчики, металізовані монтажні отвори.

Друковані плати по конструкції розділяються на такі класи:

- односторонні(одношарові) — ОДП
- двосторонні(двошарові) — ДДП
- багатошарові — БДП
- гнучкі — ГДП

ОДП мають провідний малюнок на одній стороні діелектричної основи. Вони прості по конструкції та виробництву, але монтажні і трасувальні здібності цих плат низькі, надійність ОДП і механічна міцність елементів також невисока.

ДДП мають провідний малюнок на двох сторонах основ. Вони мають високу щільність монтажу, підвищену надійність з'єднань, високу механічну міцність їх кріплень. Це також дозволяє полегшити трасування провідників та оптимізувати розміри плати завдяки щільному розміщенні елементів. Ці ДП допускають монтаж штирьових елементів з однієї сторони, SMD — компонентів з двох сторін. Тому ДДП широко застосовуються в електронній апаратурі.

БДП складаються з тонких шарів діелектрика з провідним малюнком, які чергуються. У процесі виробництва всі шари фізично з'єднуються в одне ціле – багатошарова основа. Залежно від технології виготовлення (пресування) БДП, підключення до електричної багатошаровій структури можуть бути здійснені або наскрізними перехідними отворами, або із застосуванням

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

міжшарових переходів. Міжшарові переходи з зовнішніх шарів на внутрішні називаються глухими, а між внутрішніми шарами – прихованими.

ГДП оформлені конструктивно як ОДП або ДДП, але виконані на еластичній основі товщиною 0,1...0,5 мм. Вони застосовуються в тих випадках, коли плата після виготовлення піддається вібраціям, багаторазовим вигинам.

Оскільки дана схема містить тільки 2 різних живлення (+3,3, +12 В) і землю, тому необхідно обрати ДДП, а не БДП, так як немає необхідності для великої кількості шарів і все можна розмістити без суттєвого збільшення довжини провідників на двох сторонах друкованої плати. Тому в даному випадку було обрано ДДП.

3.2. Вибір і обґрунтування матеріалу друкованої плати

При виробництві ДП використовуються вітчизняні та імпорتنі матеріали різних виробників. Матеріали, використанні в якості основи для ДП повинні мати: високі електроізоляційні властивості, достатню механічну міцність, бути стійким до кліматичних впливів. Цим вимогам задовольняють електротехнічні матеріали: гетинакс (ГОСТ 2718-74), текстоліт (ГОСТ 2910-74) і склотекстоліт (ГОСТ 12652-74) та інші.

Розглянемо основні властивості цих матеріалів і виберемо з них оптимальний варіант для матеріалу друкованої плати. Основні властивості цих матеріалів наведено в Таблиця 3.1:

Таблиця 3.1 — Основні властивості матеріалів друкованої плати

Властивості	Гетинакс	Текстоліт	Склотекстоліт
Густина, г/см ³	1,3...1,4	1,3...1,45	1,6...1,75
Теплостійкість по Мартенсу °С, не менше	150	125	180
Холодостійкість, °С	-60	-60	-60

Таблиця 3.2 — Основні властивості матеріалів друкованої плати

Границя міцності, МПа: при розтягу на згин	80...100 130...150	50...65 90...120	120...180 200
Питома ударна в'язкість, кДж/м ²	15...20	20...27	75
Питомий об'ємний опір, Ом*м	10 ⁸ ...10 ¹¹	10 ⁶ ...10 ⁸	10 ¹¹
Діелектрична проникність	6...7	8	4...7
Тангенс кута діелектричних втрат при 10 ⁶ Гц	0,035...0,08	0,07	0,02
Електрична міцність (перпендикулярно шарам), МВ/м, не менше	33	4...8	18

Отже, в якості матеріалу друкованої плати доцільно вибрати склотекстоліт, оскільки він має кращі характеристики, ніж в гетинаксу та в текстоліту. Він складається з 8 шарів склотекстоліту, які в сумі дають 1,5 мм товщини. Склотекстоліт допускає короточасну експлуатацію при 200 °С. Електрична міцність склотекстоліту майже в три рази вища, ніж у текстоліту.

Для реалізації ДДП було обрано FR4-2-35-1.5, основа якого складається із склотекстоліту і має товщинну 1,5 мм, покритий з двох сторін мідною електролітичною фольгою товщиною 35 мкм.

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

3.3. Вибір і обґрунтування класу точності друкованої плати

Точність ДП залежить від комплексу технологічних параметрів і з практичної точки зору визначає основні параметри елементів ДП. В першу чергу це відноситься до мінімальної ширини провідників, мінімального зазору між елементами провідного малюнка і до ряду інших параметрів.

ГОСТ 23751-86 передбачає п'ять класів точності ДП. Вибір класу точності завжди пов'язаний з конкретним виробництвом. Спроба вирішити цю задачу у зворотньому порядку може призвести до того, що проєкт не буде реалізований. Необхідні граничні значення елементів друкованого монтажу і допустимі похибки наведені в Таблиця 3.3 та Таблиця 3.4 відповідно:

Таблиця 3.3 — Граничні значення основних параметрів ПМ

Параметер	Клас точності				
	1	2	3	4	5
Ширина друкованого провідника $b_{пр}$, мм	0.75	0.45	0.25	0.15	0.10
Відстань S між краями сусідніх елементів провідного рисунку, мм	0.75	0.45	0.25	0.15	0.10
Гарантований поясок $b_{по}$, мм	0.30	0.20	0.10	0.05	0.03
Відношення $f_{дт}$ номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати, мм	0.40	0.40	0.33	0.25	0.20
Щільність монтажу	мала	середня	середня	висока	висока

Таблиця 3.4 — Допустимі похибки виконання елементів ПМ

Похибка	Обозначення	Максимальне значення, мм
Зміщення провідників відносно ліній КС	$\delta_{сп}$	0,05
Розташування отворів (всіх) відносно вузлу КС	δ_o	0,07
Розташування КМ відносно вузлу КС	$\delta_{км}$	0.015(0.05)
Фотокопії та фотошаблону	$\delta_{фф}$	0,06
Розташування КМ відносно вузлу КС на фотошаблоні	$\delta_{фш}$	0,05

Виготовлення ДП п'ятого класу точності вимагає застосування унікального високоточного обладнання, спеціальних (як правило, дорогих) матеріалів і навіть створення у виробничих приміщеннях “чистої зони”. Таким

вимогам відповідає не кожне виробництво. Однак, ДП невеликого розміру можуть виконуватися по п'ятому класу на обладнанні, що забезпечує виробництво плат четвертого класу.

ДП четвертого класу випускається на високоточному обладнанні, але вимога до матеріалів, обладнання і виробничих приміщень нижче, ніж для п'ятого класу.

ДП третього класу — найбільш поширені, оскільки, з одного боку, забезпечують досить високу щільність трасування і монтажу, а з іншого — для їх виробництва достатньо звичайного спеціалізованого обладнання.

Так як у схемі приладу використано SMD мікросхеми, для комфортного трасування даних компонентів, та забезпечення можливості провести провідник між контактними майданчиками таких компонентів, було обрано четвертий клас точності. Оскільки класи точності нижче четвертого не дозволяють таку щільність трасування яка необхідна, а використання п'ятого класу точності буде надлишковим для даного приладу, адже зазвичай п'ятий клас точності використовується для трасування компонентів типу GBA, які можуть бути розведені тільки п'ятим класом точності, у такому разі четвертий клас точності повністю задовольняє поставленій задачі трасування, адже він забезпечує високу щільність прокладання провідників та, на відміну від п'ятого класу точності, не потребує використання унікального високоточного обладнання.

3.4. Вибір і обґрунтування методу виготовлення друкованої плати

Класифікація методів виготовлення ДП, що використовуються в наш час на виробництві можна представити наступним чином (РИС.3.1):

					<i>ДК62.758723.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

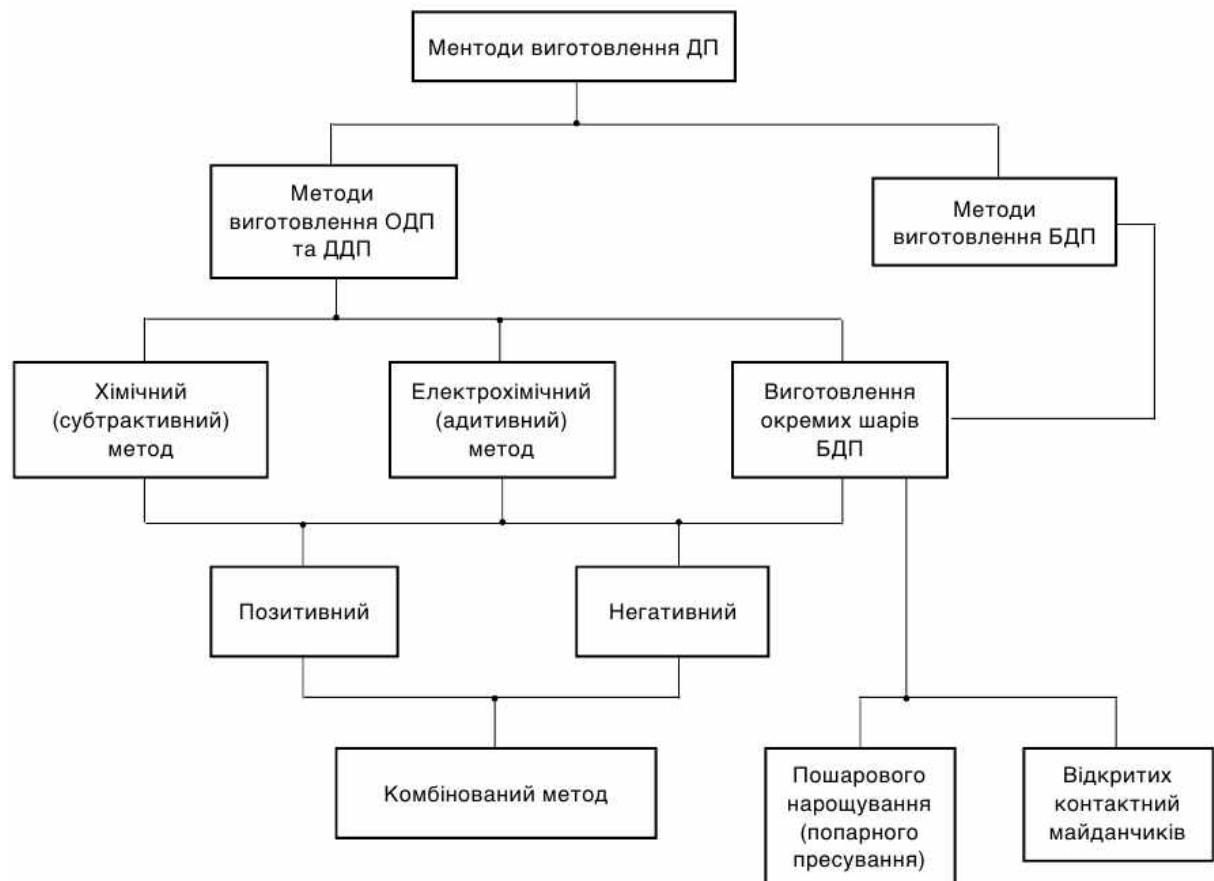


РИС.3.1. Методи виготовлення ДП

Слід відмітити, що всі методи виготовлення ДП включають набір приблизно однотипних технологічних операцій, основними з яких є:

- Нанесення захисного покриття(резисту);
- Отримання друкованого малюнку елементів монтажу;
- Виготовлення МО та ПО, КМ для поверхневого монтажу (для SMD компонентів);
- Пресування або склеювання друкованих шарів (для багатошарової структури);
- Операційний контроль.

У якості методу для виготовлення ДП було вибрано комбінований позитивний метод. Цей метод забезпечує отримання чітких ліній провідників друкованої схеми. Друковані плати надійніші, оскільки при цьому діелектрик знаходиться в сприятливіших умовах, адже фольга оберігає його від дії

електроліту. Також комбінований позитивний метод широко застосовується при виготовленні ДДП.

3.5. Проєктування друкованої плати у середовищі Altium Designer

Altium Designer — це комплексна система автоматизованого проєктування радіоелектронних засобів. Дозволяє проєктувати друковані плати у тривимірному вигляді, а також обмінюватись інформацією з механічними системами автоматизованого проєктування.

Під час виконання дипломного проєкту було розглянуто наступні можливості програми:

- самостійне створення бібліотеки компонентів (додавання УГП і посадкового місця);
- створення принципової електричної схеми;
- трасування друкованої плати (ручне або автоматичне трасування).

Під час проєктування ДП в середовищі AD було враховано:

- Обраний тип ДП, який вплинув на кількість шарів ДП;
- Обраний матеріал, який вплинув на товщину ДП;
- Обрану точність, яка вплинула на товщину провідників;
- Розміщення КЕ в монтажному просторі.

Висновок:

У даному розділі було розглянуто та обрано тип друкованої плати, обрано метод виготовлення ДП, обрано клас точності монтажу. Після аналізу ТЗ і схеми електричної принципової обрано ДДП для реалізації схеми, завдяки чому плата має невеликі габаритні розміри. Матеріалом ДП було обрано склотекстоліт FR4-2-35-1,5 через його переваги над іншими матеріалами. Для конструювання ДП обрано 4-ий клас точності, так як даний клас точності може забезпечити виконання всіх з'єднання між КЕ. Також було розглянуто метод виготовлення ДП та вирішено використовувати комбінований позитивний метод, оскільки даний метод широко використовується і має ряд своїх переваг

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

перед іншими методами. Було виконано розміщення КЕ в монтажному просторі, під час чого було обрано найбільш оптимальне розміщення. В кінці було зпроектовано ДП в середовищі AD, під час чого створено бібліотеки компонентів, принципову схему електричну та виконано трасування ДП.

					<i>ДК62.758723.001 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		28

Розділ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКОГО РІШЕННЯ

4.1.1. Конструкторсько-технологічний розрахунок друкованої плати

4.1.2. Розрахунок мінімальної ширини провідника по постійному струмі для ланцюгів живлення та землі

Мінімальна ширина друкованого провідника по постійному струму $b_{\min I}$ (мм) для ланцюгів живлення та «землі» визначається за виразом (4.1):

$$b_{\min I} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}}, \quad (4.1)$$

де I_{\max} — максимально можливий струм в ланцюгу, А;

$j_{\text{доп}}$ — допустима щільність струму для ДП, що виготовлені комбінованим позитивним методом, $j_{\text{доп}} = 48 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ (за ОСТ 4.010.022-85);

$t_{\text{пров}}$ — товщина друкованого провідника і визначається за виразом (4.2).

Друкований провідник виготовлюється комбінованим позитивним методом. Згідно методу виготовлення:

$$t_{\text{пров}} = h_{\text{ф}} + h_{\text{ГМ}} + h_{\text{ХМ}}, \quad (4.2)$$

де $h_{\text{ф}}$ — товщина фольги, $h_{\text{ф}} = 0,035$ мм;

$h_{\text{ГМ}}$ — товщина шару гальванічно осадженої міді, $h_{\text{ГМ}} = 0,055$ мм;

$h_{\text{ХМ}}$ — товщина шару хімічно осадженої міді, $h_{\text{ХМ}} = 0,0065$ мм.

$$t_{\text{пров}} = 0,035 + 0,055 + 0,065 = 0,097 \text{ (мм)}$$

Параметр I_{\max} у виразі (4.1) визначається як сума струмів, що споживають всі активні елементи схеми. Значення струмів, які споживають елементи схеми, наведені у Таблиці 4.1:

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Таблиця 4.1 – Струми, що споживаються елементами схеми.

IC	Кількість	$I_{\text{спож}}$ Одного елемента, мА	$\Sigma I_{\text{спож}}$, мА
STM32F411RET6	1	240	240
HC-SR501	1	50	50
LM317D2T	2	50	100

У результаті:

$$I_{\max} = 240 + 50 + 100 = 390 \text{ (мА)}$$

$$b_{\min I} = \frac{390 \cdot 10^{-3}}{48 \cdot 0,097} = 0,084 \text{ (мм)}$$

Проаналізуємо згідно вибраного четверного класу точності. Отримане значення 0.033 мм менше мінімальної ширини провідника четвертого класу точності 0.15, отже використання мінімальної ширини провідника четверного класу точності можна вважається доцільним.

Ланцюги живлення та “землі” вирішено під’єднати за допомогою полігонів, що зменшить падіння напруги до мінімуму, також, у разі необхідності, дасть можливість безперешкодно протікати великим струмам.

4.1.3. Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому, визначається за виразом (4.3)

$$b_{\min U} = \frac{\rho \cdot I_{\max} \cdot l_{\text{пр}}}{U_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}}, \quad (4.3)$$

де ρ — питомий опір провідника, для комбіновано позитивного методу

$$\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}};$$

I_{\max} — максимальний струм у провіднику,

$I_{\max} = 390 \text{ мА}$, визначено вище у пункті 4.1.2;

$l_{\text{пр}}$ — довжина найдовшого друкованого провідника ДП, $l_{\text{пр}} = 236,88 \text{ мм}$;

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$U_{\text{доп}}$ — допустиме падіння напруги на друкованому провіднику, $U_{\text{доп}} = 0,05 \cdot 5\% = 0,25 \text{ В}$;

$t_{\text{пров}}$ — товщина друкованого провідника, визначено вище у пункті 4.1.2.

$$b_{\min U} = \frac{0,0175 \cdot 390 \cdot 10^{-3} \cdot 236,88 \cdot 10^{-3}}{0,25 \cdot 0,097} = 0,066 \text{ (мм)}$$

Така мінімально допустима ширина провідника цілком задовольняє вибраній ширині провідників для живлення рівній 0,15 мм.

4.1.4. Визначення номінально діаметру монтажного отвору

Номінальний діаметр монтажного отвору визначається за виразом (4.4):

$$d \geq d_{\text{ве}} + \Delta d_{\text{мо}} + r, \quad (4.4)$$

де $d_{\text{ве}}$ — діаметр виводу елемента, для якого визначається діаметр монтажного отвору, $d_{\text{ве}} = 0,7$;

$\Delta d_{\text{мо}}$ — нижнє граничне відхилення від номінального діаметру МО, $\Delta d_{\text{мо}} = 0,1 \text{ мм}$;

r — різниця між мінімальним діаметром МО та максимальним діаметром виводу елемента $r = 0,1 \dots 0,2 \text{ мм}$. В цьому випадку виходить якісне заповнення МО при пайці та оптимальна вага самої пайки.

$$d \geq 0,7 + 0,1 + 0,2 = 1 \text{ (мм)}$$

4.1.5. Визначення діаметру контактного майданчику

Діаметр контактного майданчику визначається за виразом (4.5):

$$D_{\text{min}} = D_{\text{min1}} + 1,5 \cdot h_{\text{ф}} + 0,03, \quad (4.5)$$

де D_{min1} — мінімальний ефективний діаметр КМ, визначається за виразом (4.6);

$h_{\text{ф}}$ — товщина фольги, $h_{\text{ф}} = 0,035 \text{ мм}$. Коефіцієнт 1,5 враховує підтравлювання фольги друкованого провідника в ширину;

0,03 — похибка для КМ виготовлених комбінованим позитивним методом.

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$D_{min1} = 2 \cdot \left(b_{по} + \frac{d_{max}}{2} + \delta_o + \delta_{км} \right), \quad (4.6)$$

де $b_{по}$ — ширина пояса КМ, $b_{по} = 0,1$ мм, визначається з Таблиця 3.3;

d_{max} — максимальний діаметр отвору в ДП, визначається за виразом (4.7);

δ_o — похибка розташування центру отвору відносно вузла КС, $\delta_o = 0,07$ мм, визначається з Таблиця 3.3;

$\delta_{км}$ — похибка розташування центру КМ відносно вузлу КС, $\delta_{км} = 0,05$ мм, визначається з Таблиця 3.4.

Максимальний діаметр просвердленого отвору ДП визначається за виразом (4.7):

$$d_{max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), \quad (4.7)$$

де d — номінальний діаметр МО, $d = 1$, визначено вище у пункті 4.1.4;

Δd — допуск на діаметр отвору, $\Delta d = 0,05$ мм.

$$d_{max} = 1 + 0,05 + 0,1 = 1,15 \text{ (мм)}$$

$$D_{min1} = 2 \cdot \left(0,1 + \frac{1,15}{2} + 0,07 + 0,05 \right) = 1,59 \text{ (мм)}$$

$$D_{min} = 1,59 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 1,67 \text{ (мм)}$$

Максимальний діаметр КМ визначається за виразом (4.8):

$$D_{max} = D_{min} + 0,02 \quad (4.8)$$

$$D_{max} = 1,67 + 0,02 = 1,69 \text{ (мм)}$$

4.1.6. Визначення мінімальної та максимальної ширини провідника

Мінімальна ширина провідника визначається виразом (4.9):

$$b_{min} = b_{пр}^r + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03, \quad (4.9)$$

де $b_{пр}^r$ — мінімальна ширина провідника, $b_{пр}^r = 0,15$ мм, визначається з таблиці класів точності (табл.3.1.2);

h_{ϕ} — товщина фольги, $h_{\phi} = 0,035$ мм.

$$b_{min} = 0,15 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 0,18 \text{ (мм)}$$

Максимальна ширина провідника визначається виразом (4.10):

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

$$b_{max} = b_{min} + 0,02, \quad (4.10)$$

$$b_{max} = 0,18 + 0,02 = 0,2 \text{ (мм)}$$

4.1.7. Визначення мінімальної відстані між провідником та контактним майданчиком.

На Рис.4.1 зображено схематичне розташування провідника і КМ, зображені відстані які використовуються для розрахунку за формулою (4.11):

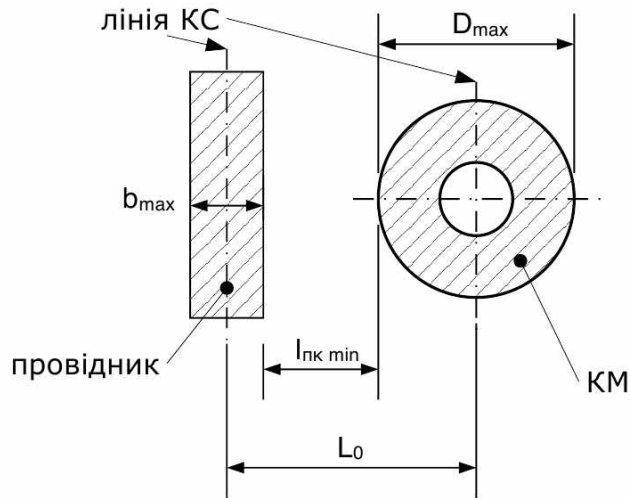


Рис.4.1 — Відстань між провідником та КМ

$$l_{пкм min} = L_0 - \left(\frac{D_{max}}{2} + \delta_{км} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{сп} \right), \quad (4.11)$$

де L_0 — відстань між центрами отворів та друкованим провідником, які кратні кроку КС, $L_0 = 1,25$ мм (обрано найгірший випадок);

D_{max} — максимальний діаметр КМ, $D_{max} = 1,69$, визначено вище у пункті 4.1.5;

$\delta_{км}$ — похибка розташування центра КМ відносно вузла КС, $\delta_{км} = 0,05$ мм, визначено з Таблиця 3.4;

b_{max} — максимальна ширина провідника, $b_{max} = 0,2$, визначено вище у пункті 4.1.6;

$\delta_{сп}$ — похибка, що враховує зміщення провідника, $\delta_{сп} = 0,05$ мм, визначається з Таблиця 3.4.

$$l_{пкм min} = 1,25 - \left(\frac{1,69}{2} + 0,05 + \frac{0,2}{2} + 0,05 \right) = 0,205 \text{ (мм)}$$

					ДК62.758723.001 ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			33

4.1.8. Визначення мінімальної відстані між сусідніми провідниками.

На Рис.4.2 зображено схематичне розташування двох провідників і зображені відстані, які використовуються для розрахунку виразу (4.12):

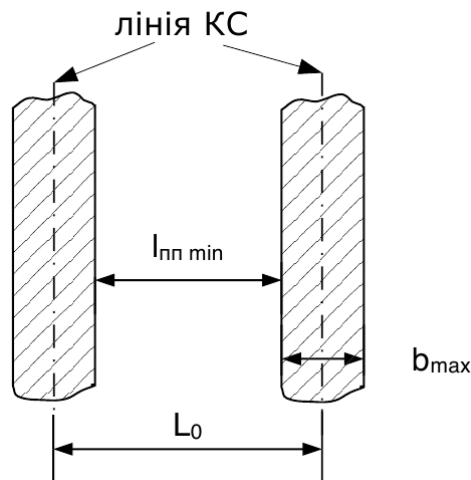


Рис.4.2 — Відстань між двома провідниками

$$l_{пп\ min} = L_0 - (b_{max} + 2 \cdot \delta_{сп}), \quad (4.12)$$

де L_0 — відстань між центрами отворів та друкованим провідником, які кратні кроку КС, $L_0 = 0,625$ (мм);

b_{max} — максимальна ширина провідника, $b_{max} = 0,2$, визначено вище у пункті 4.1.6;

$\delta_{сп}$ — похибка, що враховує зміщення провідника, $\delta_{сп} = 0,05$ мм, визначається з Таблиця 3.4.

$$l_{пп\ min} = 0,625 - (0,2 + 2 \cdot 0,05) = 0,325 \text{ (мм)}$$

4.1.9. Визначення мінімальної відстані між контактними площадками.

На Рис.4.3 зображено схематичне розташування провідника і КМ, де використовуються відстані для розрахунку виразу (4.13):

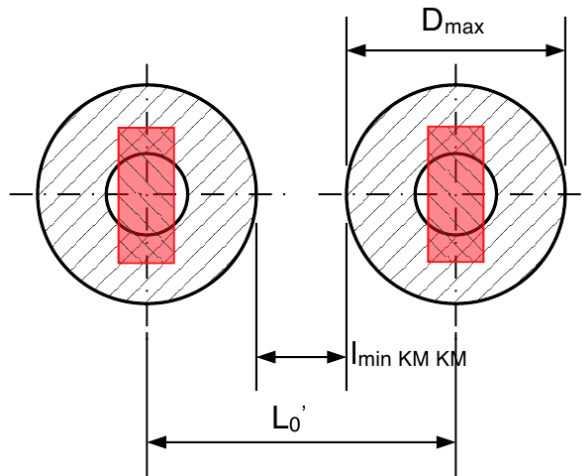


Рис.4.3 — Мінімальна відстань між двома КМ

$$l_{\min \text{ КМ КМ}} = L_{01} - (D_{\max} + 2 \cdot \delta_{\text{КМ}}), \quad (4.13)$$

Де L_{01} — відстань між центрами сусідніх КМ, $L_{01} = 2,5$ мм – чотири кроки КС;

D_{\max} — максимальний діаметр КМ, $D_{\max} = 1,69$, визначено вище у пункті 4.1.5;

$\delta_{\text{КМ}}$ — похибка розташування центра КМ відносно вузла КС, $\delta_{\text{КМ}} = 0,05$ мм, визначено з Таблиця 3.4.

$$l_{\min \text{ КМ КМ}} = 2,5 - (1,69 + 2 \cdot 0,05) = 0,71 \text{ (мм)}$$

Отримане значення задовольняє 4-й клас точності.

4.2. Електричний розрахунок друкованої плати

Зі зменшенням геометричних розмірів конструктивних елементів та зі збільшенням щільності їх розташування між сигнальними провідниками виникає ємнісний та індуктивний зв'язок. При перемиканні елементів по сигнальним ланцюгам протікають високочастотні імпульсні струми з крутими фронтами, які внаслідок наявності паразитних зв'язків наводять на сусідніх сигнальних провідниках перешкоди. Останні при певних умовах викликають помилкове спрацювання дискретних елементів. Необхідно, щоб значення перешкод не перевищували допустимої межі.

Вплив ємності та індуктивності сигнального зв'язку виражається в затримці вмикання схем. Час затримки визначається струмом, опором навантаження та опором сигнального провідника.

Розрахунок виконується за умов, що плата виготовлена комбінованим методом, згідно ГОСТ Р 50621-93.

4.2.1. Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику

Падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику визначається за виразом (4.14):

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}}, \quad (4.14)$$

де ρ — питомий опір провідника, для комбіновано позитивного методу $\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$;

I_{max} — максимальний струм на найдовшому провіднику, $I_{\text{max}} = 0,33 \text{ мА}$;

$l_{\text{пр}}$ — довжина найдовшого друкованого провідника ДП, $l_{\text{пр}} = 0,236 \text{ м}$;

$b_{\text{пр}}$ — мінімальна ширина провідника, $b_{\text{пр}} = 0,15 \text{ мм}$, визначається з таблиці класів точності (табл.3.1.2);

$t_{\text{пр}}$ — товщина друкованого провідника, $t_{\text{пр}} = 0,097 \text{ мм}$, визначено вище у пункті 4.1.2.

$$U_{\text{пад}} = \frac{0,0175 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,236}{0,15 \cdot 0,097} = 0,14 \text{ (мВ)}$$

Розраховане падіння напруги не перевищує 5% від напруги живлення.

4.2.2. Визначення втрати потужності двосторонньої друкованої плати

Втрати потужності визначається за виразом **Помилка! Джерело п**
осилання не знайдено.:

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$P_{\text{пот}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot U_{\text{жив}}^2 \cdot tg\sigma,$$

де: $f_{\text{нч}} = 1$ Гц для низьких частот та $f_{\text{вч}} = 8$ МГц для високих частот;

C — ємність друкованої плати, яка визначається за виразом (4.15);

$U_{\text{жив}}$ — напруга живлення, $U_{\text{жив}} = 3,3$ В;

$tg\sigma$ — тангенс кута діелектричних втрат для матеріалу друкованої плати, $tg\sigma = 0,002$ для матеріалу FR4.

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h}, \quad (4.15)$$

де ε — діелектрична проникність, $\varepsilon = 4,5$ для FR4;

S_m — площа металізації, $S_m = 4813 \text{ мм}^2$;

h — товщина ДП, $h = 1,5$ мм.

$$C = \frac{0,009 \cdot 4,5 \cdot 4813}{1,5} = 129 \text{ (пФ)}$$

Для низьких частот:

$$P_{\text{пот}} = 2 \cdot \pi \cdot f_{\text{нч}} \cdot C \cdot E_{\text{п}}^2 \cdot tg\sigma = 2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 129 \cdot 10^{-12} \cdot 3,3^2 \cdot 0,002 = 17,6 \text{ (пВт)}$$

Для високих частот:

$$P_{\text{пот}} = 2 \cdot \pi \cdot f_{\text{вч}} \cdot C \cdot E_{\text{п}}^2 \cdot tg\sigma = 2 \cdot 3,14 \cdot 8 \cdot 10^6 \cdot 129 \cdot 10^{-12} \cdot 5^2 \cdot 0,002 = 324 \text{ (мкВт)}$$

4.2.3. Визначення ємності між двома сусідніми провідниками, які розташовані на одній стороні друкованої плати та мають однакову ширину

Ємність між двома сусідніми провідниками, які розташовані на одній стороні друкованої плати та мають однакову ширину визначається за виразом (4.16):

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1}, \quad (4.16)$$

де ε — діелектрична проникність, $\varepsilon = 4,5$;

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

$l_{\text{пр}}$ — довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників,
 $l_{\text{пр}} = 18,5 \text{ мм}$;

S — відстань між двома паралельними провідниками, $S = 0,75 \text{ мм}$;

$b_{\text{пр}}$ — ширина друкованого провідника, $b_{\text{пр}} = 0,15 \text{ м}$;

$t_{\text{пр}}$ — товщина друкованого провідника, $t_{\text{пр}} = 0,097 \text{ мм}$, визначено вище у пункті 4.1.2.

$$C = 0,12 \cdot 4,5 \cdot 18,5 \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot 0,75}{0,15 + 0,097} \right]^{-1} = 1,27 \text{ (пФ)}$$

4.3. Розрахунок надійності

В ході експлуатації на пристрій постійно діють різні дестабілізуючі чинники, дія яких згодом може негативно вплинути на працездатність приладу, або зовсім привести його в неробочий стан. Таким чином, необхідно розрахувати час безвідмовної роботи пристрою та інтенсивність відмов, що дасть змогу слідкувати за коректною роботою пристрою та його функціональністю.

Далі проводиться розрахунок надійності схеми пристрою за випадковими відмовами. Розрахунок такого типу виконується спираючись на схему електричну принципову, і враховує не тільки інтенсивність відмов елементів всіх типів, а й експлуатаційні умови.

Інтенсивність відмов розраховується далі за формулою.(4.18)

$$\lambda_i = \lambda_B \prod_{n=1}^N K_n \quad (4.18)$$

λ_B — вихідна інтенсивність відмов елемента;

N — кількість коефіцієнтів, які враховуються;

K_n — n -тий коефіцієнт впливу.

Також важливою складовою розрахунку є коефіцієнт, який враховує умови експлуатації. Цей коефіцієнт буде мати однакове значення для всіх елементів пристрою:

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

$$K_i = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (4.19)$$

де $K_1 = 16$ — коефіцієнт умов використання для наземної апаратури;
 $K_2 = 1,2$ — коефіцієнт, який враховує показники температури та вологості;

$K_3 = 1,05$ — коефіцієнт, який характеризує висоту на якій експлуатується прилад.

Для конденсатора, який використовуються в схемі коефіцієнт навантаження буде:

$$K_n = \frac{U_{max}}{U_{доп}}, \quad (4.20)$$

$$K_n = \frac{6,3}{12} = 0,525;$$

Інтенсивність відмов буде:

$$\lambda_i = \lambda_B \cdot K_T \cdot K_E, \quad (4.21)$$

$$\lambda_i = 0,01 \cdot 0,525 \cdot 20 \cdot 0,84 = 0,082.$$

Оскільки резистори, які працюють в сигнальних колах малопотужні, то коефіцієнт навантаження буде у будь-якому випадку не більше 0,1. Тоді інтенсивність відмов для цих резисторів:

$$\lambda_i = \lambda_B \cdot K_H \cdot K_E, \quad (4.22)$$

$$\lambda_i = 0,04 \cdot 0,5 \cdot 20 = 0,4.$$

Коефіцієнт навантаження діодів розраховується, як відношення максимального струму через нього до максимально допустимого струму в схемі:

$$K_n = \frac{I_{вих}}{I_{доп}}, \quad (4.23)$$

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$K_n = \frac{1}{1} = 1;$$

Далі можна розрахувати інтенсивність відмов для діоду:

$$\lambda_i = \lambda_B \cdot K_H \cdot K_E, \quad (4.24)$$

$$\lambda_i = 0,1 \cdot 1 \cdot 20 = 2.$$

Максимальне значення потужності, яке може розсіюватись на транзисторі типу IRF9530NS становить 79 Вт, тоді коефіцієнт навантаження матиме значення:

$$K_n = \frac{P_{max}}{P_{доп}}, \quad (4.25)$$

$$K_n = \frac{79}{120} = 0,65;$$

Тоді, враховуючи навантаження та робочу температуру, коефіцієнт $K_p = 0,1$, відси інтенсивність відмов буде наступною:

$$\lambda_i = \lambda_B \cdot K_p \cdot K_E, \quad (4.26)$$

$$\lambda_i = 0,886 \cdot 0,1 \cdot 20 = 1,772.$$

Максимальне значення потужності, яке може розсіюватись на транзисторі типу КТ503Д становить 0,35 Вт, тоді коефіцієнт навантаження матиме значення за формулою (4.25) :

$$K_n = \frac{0,35}{120} = 0,0029;$$

Тоді, враховуючи навантаження та робочу температуру, коефіцієнт $K_p = 0,1$, відси інтенсивність відмов буде наступною за формулою (4.26):

$$\lambda_i = \lambda_B \cdot K_p \cdot K_E = 0,886 \cdot 0,1 \cdot 20 = 1,772.$$

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Максимальне значення потужності, яке може розсіюватись на транзисторі типу КТ825Г становить 125 Вт, тоді коефіцієнт навантаження матиме значення:

$$K_n = \frac{P_{max}}{P_{доп}} = \frac{125}{120} = 1,04;$$

Тоді, враховуючи навантаження та робочу температуру, коефіцієнт $K_p = 0,1$, відси інтенсивність відмов буде наступною:

$$\lambda_i = \lambda_B \cdot K_p \cdot K_E = 0,886 \cdot 0,1 \cdot 20 = 1,772.$$

Для мікроконтролера інтенсивність відмов визначається за наступною формулою:

$$\lambda_i = \lambda_B \cdot K_{0,5} \cdot K_E \cdot K_{нор}, \quad (4.27)$$

$$\lambda_i = 0,019 \cdot 4,9 \cdot 20 \cdot 1 = 1,87.$$

Для усіх інших елементів вибираємо $K_n = 1$. Інтенсивність відмов друкованої плати визначатимемо як інтенсивність відмов металізованих отворів.

Визначимо результуючу інтенсивність відмов друкованого вузлу формувача величини напруги. Друкований вузол відноситься до наземної апаратури, експлуатується при $T_p = 40^\circ\text{C}$, інші експлуатації нормальні. Вихідні дані для розрахунку λ_p — схема принципова, перелік елементів, часова діаграма та інтенсивність відмов “компонентів надійності” від температурних впливів.

По картам робочих режимів визначаємо коефіцієнти навантаження, температурні коефіцієнти ІС та інших ЕРЕ, підраховуємо кількість всіх елементів. Вихідні дані для визначення λ_p зведені до Таблиця 4.1:

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Таблиця 4.1 – Використання виводів плати

Компонент	Кількість елементів групи	Базова інтенсивність відмов $\lambda_B \cdot 10^6$, 1/год	Коефіцієнт навантаження, K_H	Робоча інтенсивність відмов $\lambda_i \cdot 10^6$, 1/год
Резистор	11	0,02	0,4	0,88
Конденсатор	6	0,1	0,31	0,3
Транзистор IRF9530NS	1	0.886	0,10	1,7
Транзистор KT503	1	0.886	0,10	1,7
Транзистор KT825	1	0.886	0,10	1,7
Діод 1N5820	1	0,1	1	2
Мікроконтролер	1	0,5	0,50	1.87
Перемикач кнопковий	1	0,3	1	4,5
Роз'єм	2	0,62	1	18,6
Друкована плата	2	1	1	30
Контакт роз'єму	34	0,2	1	102
Перехідні отвори	66	0,0375	1	48,375
Пайка виводів	152	0,005	1	11,4

Загальна інтенсивність відмов пристрою визначається як сума інтенсивностей відмов кожного елемента схеми:

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi}, \quad (4.17)$$

де: $\lambda_{pi} = N \cdot \lambda_{0e} \cdot K_H \cdot a_t \cdot a_e$;

N — кількість елементів даного типу;

λ_{0e} — інтенсивність відмов в год⁻¹;

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

K_H — коефіцієнт навантаження;

a_t — поправочний температурний коефіцієнт;

a_e — поправочний коефіцієнт на зовнішні впливи.

Сумарна інтенсивність відмов друкованого вузла:

$$\lambda_p = 225,025 \cdot 10^{-7} \text{ (год}^{-1}\text{)}$$

Середній час напрацювання до першої відмови виконується за виразом:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p}$$

$$T_{cp} = \frac{1}{225,025 \cdot 10^{-7}} = 44439,5 \text{ (год)}$$

Ймовірність безвідмовної роботи на протязі року виконується за виразом (4.18):

$$P = e^{-\lambda_p \cdot t} \quad (4.18)$$

$$P = e^{-225,025 \cdot 10^{-7} \cdot 8760} = 0,822$$

Ймовірність відмов на протязі року:

$$Q(t) = 1 - 0,822 = 0,178$$

Графік залежності безвідмовної роботи ДВ та ймовірність відмов ДВ від часу представлено нижче на Рис.4.4:

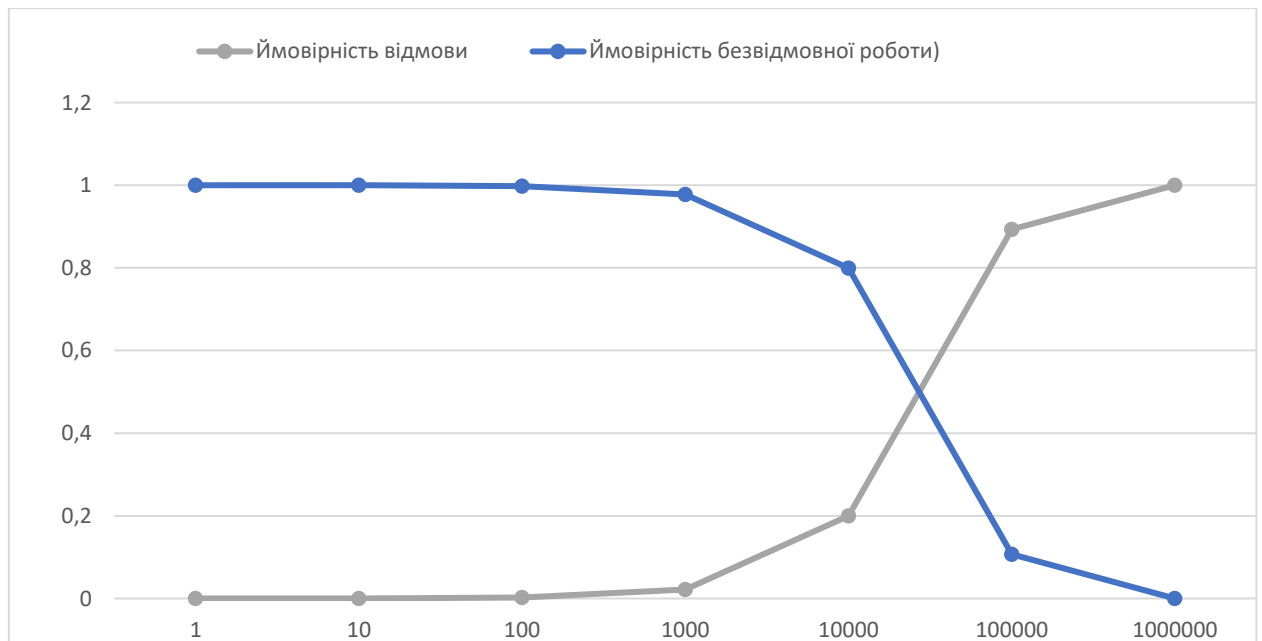


Рис.4.4 — Ймовірність відмовної і безвідмовної роботи

Для розрахунку ресурсу потрібно знайти точку перетину $P(t)$ і $Q(t)$. Для точнішого розрахунку, було взято більше точок з меншим інтервалом. Графік залежності представлено нижче на Рис.4.45

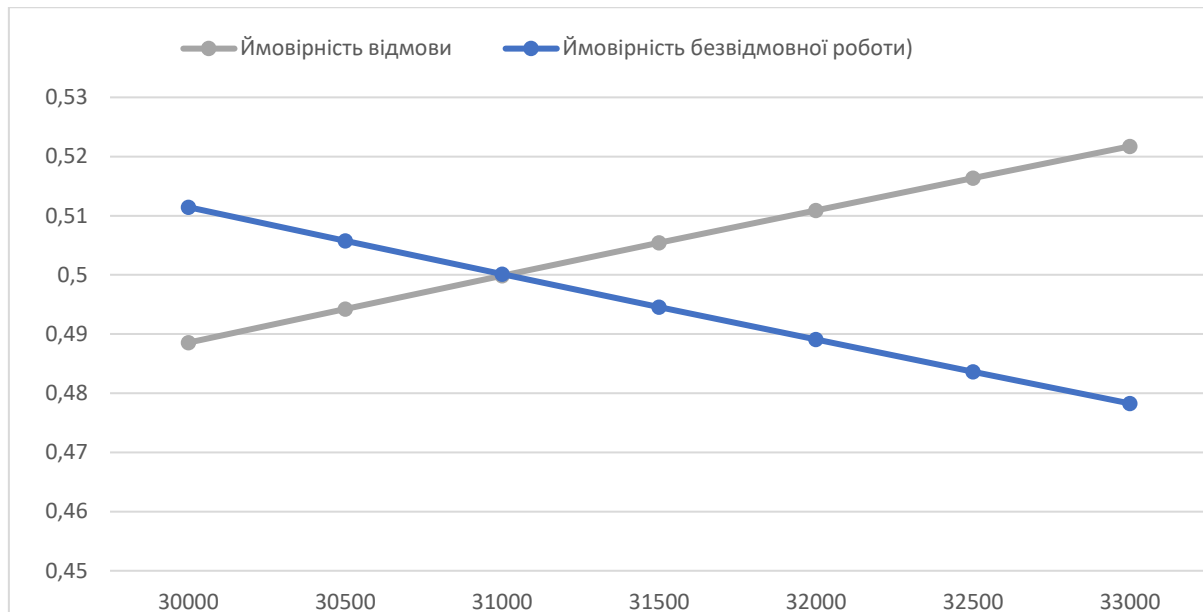


Рис.4.5 — Ймовірність відмовної і безвідмовної роботи

З цього зробили висновок, що $P(t) = Q(t) \approx 0,5$. Така ситуація буде, при $t = 31100$. Тому ресурс схеми буде рівний 31100

Висновок:

Було проведено розрахунок надійності друкованого вузлу. Отримане значення сумарної інтенсивності відмов склало $225,025 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$.

Також хотілося б зазначити, що отримане значення часу напрацювання до першої відмови склало 31100 год, що більше ніж 20000 год які закладалися в технічному завданні, тому можна сказати, що надійність даного приладу задовольняє технічного завдання.

Розділ 5. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

5.1. Програмування мікроконтролера STM32F411RET6

Сучасні мікроконтролери можуть програмуватися на різних мовах програмування, які в подальшому за допомогою спеціальних компіляторів перекладаються на мову програмування Assembler. Для найбільшої швидкодії та максимальної економії пам'яті мікроконтролера, доцільно використовувати мову програмування Assembler, проте вона вимагає значно більших зусиль та часу від спеціаліста для створення необхідного програмного забезпечення.

Для сучасних мікроконтролерів, що мають достатньо високу швидкодію, та при сучасному рівні компіляторів, розроблено мови програмування більш високого рівня, що полегшують роботу спеціаліста та прискорюють процес розробки програмного забезпечення (ПЗ).

В даному дипломному проєкті для створення програми для мікроконтролера використано мову програмування C. Вибір мови програмування обумовлений декількома факторами:

- розроблювана система не є складною та вимогливою до апаратної частини модуля;
- апаратна платформа STM32F4 має достатню швидкодію та кількість пам'яті, що не обмежує в виборі мови програмування;

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

5.2. Структурна схема

Для написання програми керування автоматичним освітленням розроблено структурну схему зображену на рисунку



Рисунок 5.1 — Структурна схема програми для апаратної платформи

Зі схеми видно, що спочатку сигнал надходить з датчиків та кнопки надходять на мікроконтролер, далі він їх обробляє і подає вихідний сигнал на прилад освітлення, а також вихідний сигнал надходить назад на мікроконтролер, що запам'ятовує який сигнал подається зараз, для можливості обробки даних з кнопки.

5.3. Розробка програми для мікроконтролера STM32F411RE

В якості мікроконтролеру, який керуватиме приладом використовується STM32f411RE. Мікроконтролер забезпечує зчитування даних з обраних пінів, та вихідний сигнал, що потім підсилюється у схемі.

Нижче наведена таблиця, в якій показано, які виводи плати використовуються та їх позначення.

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Таблиця 5.1 – Використання виводів плати

Назва	Призначення
PA1	Вихідний сигнал з мікросхеми
PA13	Зчитування даних з кнопки
PB7	Зчитування даних з датчику руху
VDDA	Підключення живлення
VDD_2	Вихідний логічний рівень «1»
VSSA	Підключення «землі»
PC13	Зчитування сигналу з фоторезистору

На мікроконтролері STM32f411RE, кнопка знаходиться на тринадцятій ніжці порт А. В довідковій документації [8] показано, що ніжки 13-15 знаходяться на EXTI (EXTI0). Файл, який створюється за замовчуванням разом з проєктом в Keil Editor, ім'я відповідної функції для цього рядка (EXTI0_IRQHandler) в ньому ми і записали програму, яка буде реагувати на натискання кнопки. У ініціалізації ми починаємо тактувати порти, що ідуть до виходу, кнопки, і SYSCFG контролер, для ніжок, які ми будемо "слухати" . Для кнопки регістр МОДЕР залишають за замовчуванням (нога працює на вхід), а для порту який йде на освітлювальний прилад конфігуруємо на вихід

RCC_GPIO=0x9;

RCC_SYSCFG=0x4000;

GPIOA_MODER=0xA8000000;

GPIOA_PUPDR|=0x64000000;

Тоді налаштуємо EXTI. У реєстрі EXTI_IMR видалили переривання та маскування, а в реєстрі EXTI_RTISR встановили умову переривання - коли стан змінюється від нуля до одного. У SYSCFG_EXTICR1 встановили контактний порт, який ми хочемо підключитися до бажаної лінії EXTI.

EXTI_IMR=0x1;

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

```
EXTI_RTSR=0x1;  
SYSCFG_EXTICR1=0;
```

Для датчику руху задаються такі параметри:

```
RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_SYSCFG,ENABLE);  
GPIO_InitTypeDef pin;  
EXTI_InitTypeDef exti;  
NVIC_InitTypeDef nvic;  
pin.GPIO_Mode=GPIO_Mode_IN;
```

Налаштування контролера EXTI для датчику руху відбувається таким чином:

```
exti.EXTI_Line=EXTI_Line0;  
exti.EXTI_Mode=EXTI_Mode_Interrupt;  
exti.EXTI_Trigger=EXTI_Trigger_Rising_Falling;  
exti.EXTI_LineCmd=ENABLE;  
EXTI_Init(&exti);
```

Налаштування пінів для фоторезистору відбувається так само, як і для кнопки.

Подача вихідного сигналу відбувається так

```
if (GPIO_ReadInputDataBit(GPIOB, GPIO_Pin_0) != 0) {  
    GPIOA->ODR ^= GPIO_Pin_1; //  
    for(i=0;i<0x100000;i++);  
    GPIO1->ODR ^= GPIO_Pin_1;  
    for(i=0;i<0x100000;i++);  
}
```

Висновки:

У даному розділі було обрано мову програмування, розроблено структурну схему приладу, та на основі структурної схеми було розроблено програмне забезпечення для автоматичного контролера світлового потоку у середовищі IDE ARM Keil.

					<i>ДК62.758723.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Висновки:

В рамках даного дипломного проекту було розроблено автоматичний контролер світлового потоку.

Під час написання першого розділу було проведено аналітичний огляд джерел інформації встановлено, що розроблюваний пристрій автоматичного керування освітленням побутових та виробничих приміщень повинен мати датчик руху та освітлення для комплексного аналізу стану навколишнього середовища.

У другому розділі було проведено аналіз елементної бази, сучасних мікроконтролерів та мікропроцесорів було обрано елементну базу та апаратну платформу STM32F4, що забезпечує можливість розширення його функціоналу.

У третьому розділі було обрано тип друкованої плати, клас точності та метод виготовлення ДП. Для ДП було обрано використовувати комбінований позитивний метод, оскільки цей метод має ряд переваг перед іншими.

У четвертому розділі було проведено розрахунки надійності та побудови прототипу приладу було встановлено, що модуль є працездатним та повністю задовольняє вимогам технічного завдання.

У п'ятому розділі було розроблено структурну схему, та розроблено програмне забезпечення.

Підсумовуючи все, можна сказати, що розроблений пристрій рекомендовано використовувати в будь-яких побутових та виробничих приміщеннях.

					<i>ДК62.758723.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Перелік джерел посилання

1. Світлодіодні світильники з датчиком / Електронний ресурс/
http://svetlix.ru/articles/led_lamp_sensor / Світлодіодні світильники з датчи- ком — назва з екрану
2. Датчик руху «Feron SEN-11» / Електронний ресурс/ <http://ohrana.ua/datchiki/>
Датчик руху «Feron SEN-11» — назва з екрану
3. Датчик руху для освітлення ДД-008 / Електронний ресурс/
<https://001.com.ua/uk/datchyk-ruhu-dd-008/>Датчик руху для освітлення ДД- 008 — назва з екрану
4. Світильник 15-LED за датчиком руху та освітленості / Електронний ресурс/ <http://www.energoshop.com/catalog/LEDProducts/> Світильник 15-LED за да- тчиком руху та освітленості — назва з екрану
5. Ультразвуковий датчик вимірювання відстані HC-SR04/ Електронний ресурс/ <http://robocraft.ru/blog/electronics/772.html/> Ультразвуковий датчик ви- мірювання відстані HC-SR04 — назва з екрану
6. SMD резистор 1206/ Електронний ресурс/ <http://qps.ru/6o4U7/>
7. SMD конденсатор 0805/ Електронний ресурс/ <http://qps.ru/g26pt/> КерамічніSMD конденсатори – назва з екрану
8. STM32F411RE Datasheet /Електронний ресурс/ [https:// www.alldatasheet.com /datasheet-pdf/pdf/929997/STMICROELECTRONICS/STM32F411RE.html](https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/929997/STMICROELECTRONICS/STM32F411RE.html)
9. Платы печатные. Основные параметры конструкции ГОСТ 23751-86. Введ.01.07.1987. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 15 с.
- 10.Проектування друкованої плати. Навчально методичний посібник для студентів радіотехнічних спеціальностей. Київський радіомеханічний те- хнікум/ [Коваленко М.М.] – К. :1998. – 26 с.: іл.
- 11.Практическое пособие по учебному конструированию РЭА/ [Белинский Т.В., Гондюл В.П., Грозин А.Б., Круковский-Синевиц К.Б.,Мазор Ю.Л.]— К.:Вища школа, 1992. —496 с.

					<i>ДК62.758723.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

12. Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств/ [Баканов Г.Ф., Соколов С.С., Суходольский В.Ю.] под редакцией И.Г. Мироненко. М.: Издательский центр "Академия", 2007. — 368 с.

ГОСТ 23751-86 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Основные параметры конструкции.

ГОСТ 23665-79. Платы печатные. Обработка контура. Требования к типовым технологическим процессам.

ГОСТ 23770-79. Платы печатные. Типовые технологические процессы химической и гальванической металлизации.

ГОСТ 2.417-91. Платы печатные. Правила выполнения чертежей.

ГОСТ 2.701-84 – ЕСКД. Правила выполнения схем.

ГОСТ 2.702-75 – ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.

ГОСТ 2.708-81 – ЕСКД. Правила оформления схем.

ГОСТ 2.710-81 – ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.

ГОСТ 2.730-73 – УГО. Приборы полупроводниковые.

ГОСТ 2.743-91 – УГО. Элементы цифровой техники.

ГОСТ 2.759-82 – УГО. Элементы аналоговой техники.

ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения.

ГОСТ 26246.5-89 Материал электроизоляционный фольгированный нормированной горючести для печатных плат на основе стеклоткани, пропитанной эпоксидным связующим (FR-4).

ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия.

ГОСТ Р 50621-93 платы печатные одно-- и двусторонние с неметаллизированными отверстиями. Общие технические требования.

ГОСТ 2718-74 Гетинакс электротехнический листовой.

ГОСТ 2910-74 Текстолит электротехнический листовой.

					<i>ДК62.758723.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Додаток А

Технічне завдання на проєктування

1. Найменування та галузь використання

Автоматизований контролер світлового потоку. Пристрій для побутового використання в квартирах та офісних приміщеннях.

2. Підстава для розробки

Підставою для розробки є завдання на дипломний проєкт згідно наказу НТУУ «КПІ» №1196-С від 25.05.2020 р.

3. Мета та призначення розробки

3.1 Актуальність дослідження

Впровадження автоматизованого керування освітленням є необхідним. Оскільки це дозволить знизити витрати на електроенергію до мінімуму. В цьому дипломному проєкті розроблено блок, що буде вмикати освітлення при виявленні в зоні дії рухомих предметів і вимикати за певний час за відсутності руху.

3.2 Об'єкт дослідження

Блок автоматизованого контролеру світловим потоком для побутових та виробничих приміщень.

Мета розробки - розробити блок автоматизованого керування світловим потоком з використанням апаратної платформи STM32F411. Щоб досягти поставлену мету необхідно виконати такі задачі:

- Розглянути рішення що вже наявні
- Визначити конструкцію ДП
- Виконати проєктування ДП
- Розробити програмне забезпечення для роботи приладу

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

4. Вимоги до дипломного проєкту

Припій має бути ремонтпридатний за ГОСТ 27.002-89. Напрацювання на відмову, з вірогідністю 97% має бути не менше 20 000 годин. Це означає що середній строк використання приладу, не мене 2-ох років.

4.1 Вимоги до складних частин конструкції, та матеріалів

Під час конструювання повинні бути використані такі матеріали та деталі, що випускаються офіційно та дозволені до використання у побутовій електроніці.

4.2 Вимоги до безпеки обслуговування

Керуватися загальними вимогами безпеки до апаратури низької напруги
ГОСТ 12.2.007-75

5. Вимоги для транспортування та зберігання

Транспортувати в упакованому вигляді згідно ГОСТ 23088-80

6. Матеріали які подаються після закінчення дипломного проєкту та окремих його етапів

По завершенню етапів дипломного проєктування надаються проміжні звіти, в кінці дипломний проєкт для присвоєння звання «Бакалавр», конструкторська документація та презентація.

7. Вимоги до документації

Матеріали та розроблений прилад повинні бути виконані на достатньо гарному рівні та придатні для практичного у технічній галузі. Матеріали дипломного проєкту мають відповідати ДСТУ3008-95 з приводу оформлення, література оформлюється за ДСТУ ГОСТ 7.1:2006.

					<i>ДК62.758723.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

8. Порядок прийняття дипломного проєкту та етапів

Проміжні матеріали диплому у формі його розділів подаються на перевірку керівнику. Після закінчення дипломного проєкту, він захищається перед Екзаменаційною комісією.

					<i>ДК62.758723.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Додаток Б
Лістинг програми

main.c

```
#include "stm32f4xx.h"
```

```
#include "stm32f4xx_rcc.h"
```

```
#include "stm32f4xx_gpio.h"
```

```
#include "misc.h"
```

```
#include "stm32f4xx_syscfg.h"
```

```
#include "stm32f4xx_exti.h"
```

```
void exti_init()
```

```
{
```

```
RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOB|RCC_AHB1Periph_GPIOA,ENABLE);
```

```
    RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_SYSCFG,ENABLE);
```

```
    GPIO_InitTypeDef pin;
```

```
    EXTI_InitTypeDef exti;
```

```
    NVIC_InitTypeDef nvic;
```

```
    //PB0 pini ayarlamasi
```

```
    pin.GPIO_Mode=GPIO_Mode_IN;
```

```
    pin.GPIO_PuPd=GPIO_PuPd_NOPULL;
```

```
    pin.GPIO_Pin=GPIO_Pin_0;
```

```
    GPIO_Init(GPIOB,&pin);
```

```
    SYSCFG_EXTILineConfig(EXTI_PortSourceGPIOB,EXTI_PinSource0);//PB0  
    Exti Kesme
```

```
    exti.EXTI_Line=EXTI_Line0;
```

```
    exti.EXTI_Mode=EXTI_Mode_Interrupt;
```

```
    exti.EXTI_Trigger=EXTI_Trigger_Rising_Falling;
```

```
    exti.EXTI_LineCmd=ENABLE;
```

```
    EXTI_Init(&exti);
```

					<i>ДК62.758723.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

```

    nvic.NVIC_IRQChannel=EXTI0_IRQn;
    nvic.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority=0;
    nvic.NVIC_IRQChannelSubPriority=1;
    nvic.NVIC_IRQChannelCmd=ENABLE;
    NVIC_Init(&nvic);
}

void EXTI0_IRQHandler()
{
    EXTI_ClearITPendingBit(EXTI_Line0);
    GPIO_ToggleBits(GPIOD,GPIO_Pin_15);
}

void gpio_init()
{
    RCC_AHB1PeriphClockCmd(RCC_AHB1Periph_GPIOD,ENABLE);
    GPIO_InitTypeDef gpio;

    gpio.GPIO_Pin=GPIO_Pin_15;
    gpio.GPIO_Mode=GPIO_Mode_OUT;
    gpio.GPIO_PuPd=GPIO_PuPd_NOPULL;
    gpio.GPIO_Speed=GPIO_Speed_25MHz;
    GPIO_Init(GPIOD,&gpio);
}

int main(void)
{
    gpio_init();
    exti_init();
    while(1)
    {
        int i;

        GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;

```

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

```

RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_GPIOC, ENABLE);
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_1;
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_Out_PP;
GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_50MHz;
GPIO_Init(GPIOC, &GPIO_InitStructure);

```

```

//GPIO_SetBits(GPIOC, GPIO_Pin_13);
GPIO_ResetBits(GPIOC, GPIO_Pin_13);

```

```

RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_GPIOB, ENABLE);
GPIO_InitStructure.GPIO_Pin = GPIO_Pin_13;
GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_IPU;
GPIO_InitStructure.GPIO_Speed = GPIO_Speed_2MHz;
GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStructure);

```

```

while (1) {

```

```

    if (GPIO_ReadInputDataBit(GPIOB, GPIO_Pin_0) != 0) {
        GPIOA->ODR ^= GPIO_Pin_1; //
        for(i=0;i<0x100000;i++);
        GPIO1->ODR ^= GPIO_Pin_1;
        for(i=0;i<0x100000;i++);
    }
    else {
        GPIO_SetBits(GPIOC, GPIO_Pin_1);
    }
}
}
}
}
}

```

					ДК62.758723.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57